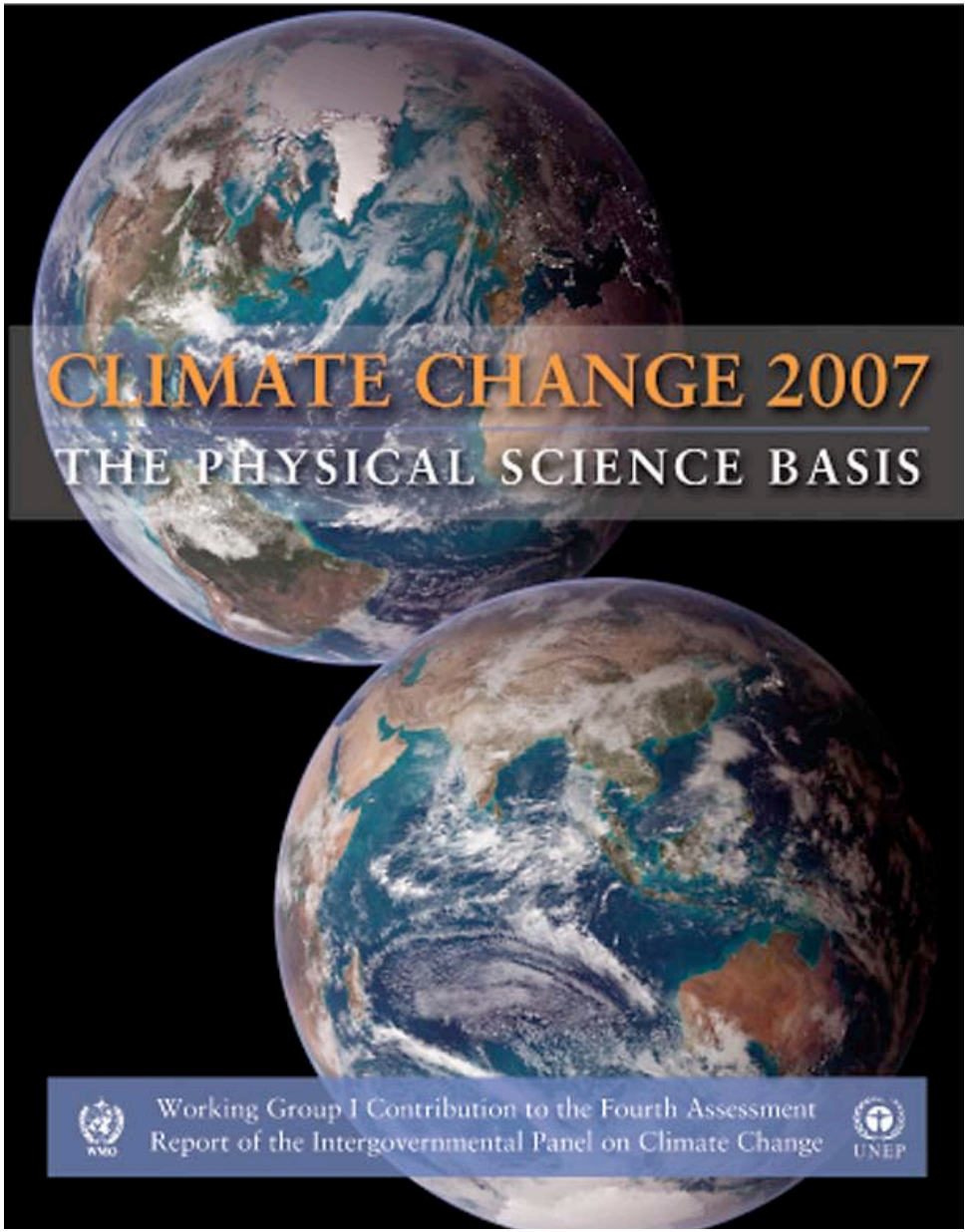
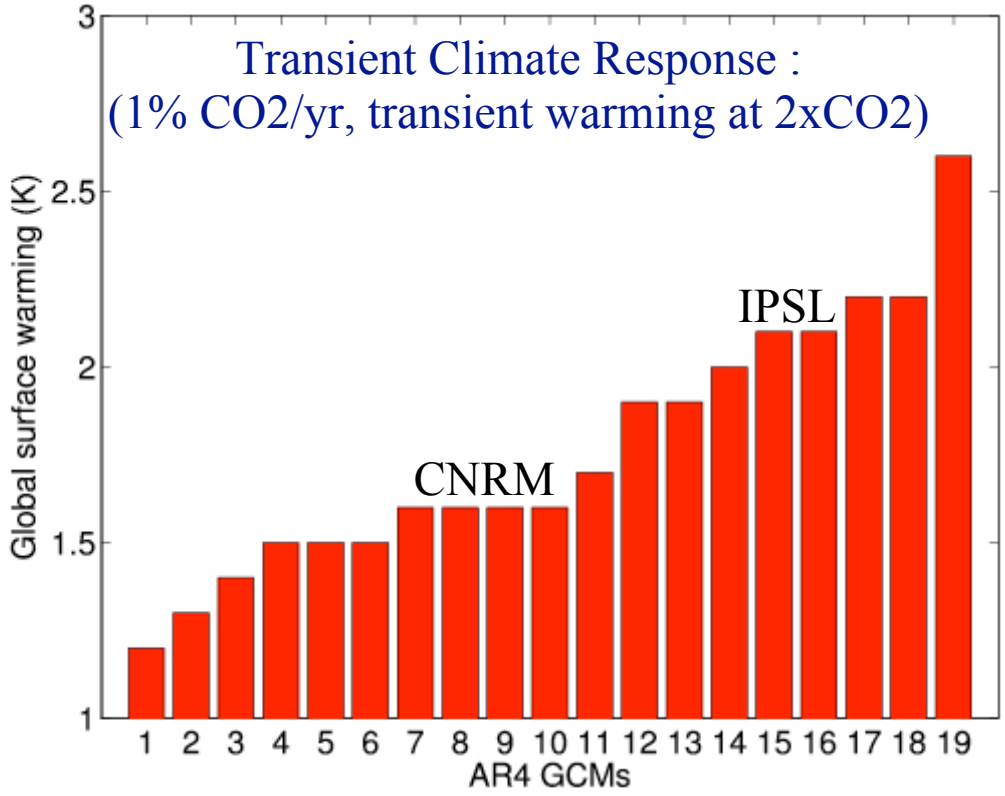
Processus nuageux & climat

... ou du jeu des nuages et de la vapeur d'eau dans la circulation atmosphérique et la sensibilité climatique

Incertitude sur la sensibilité climatique

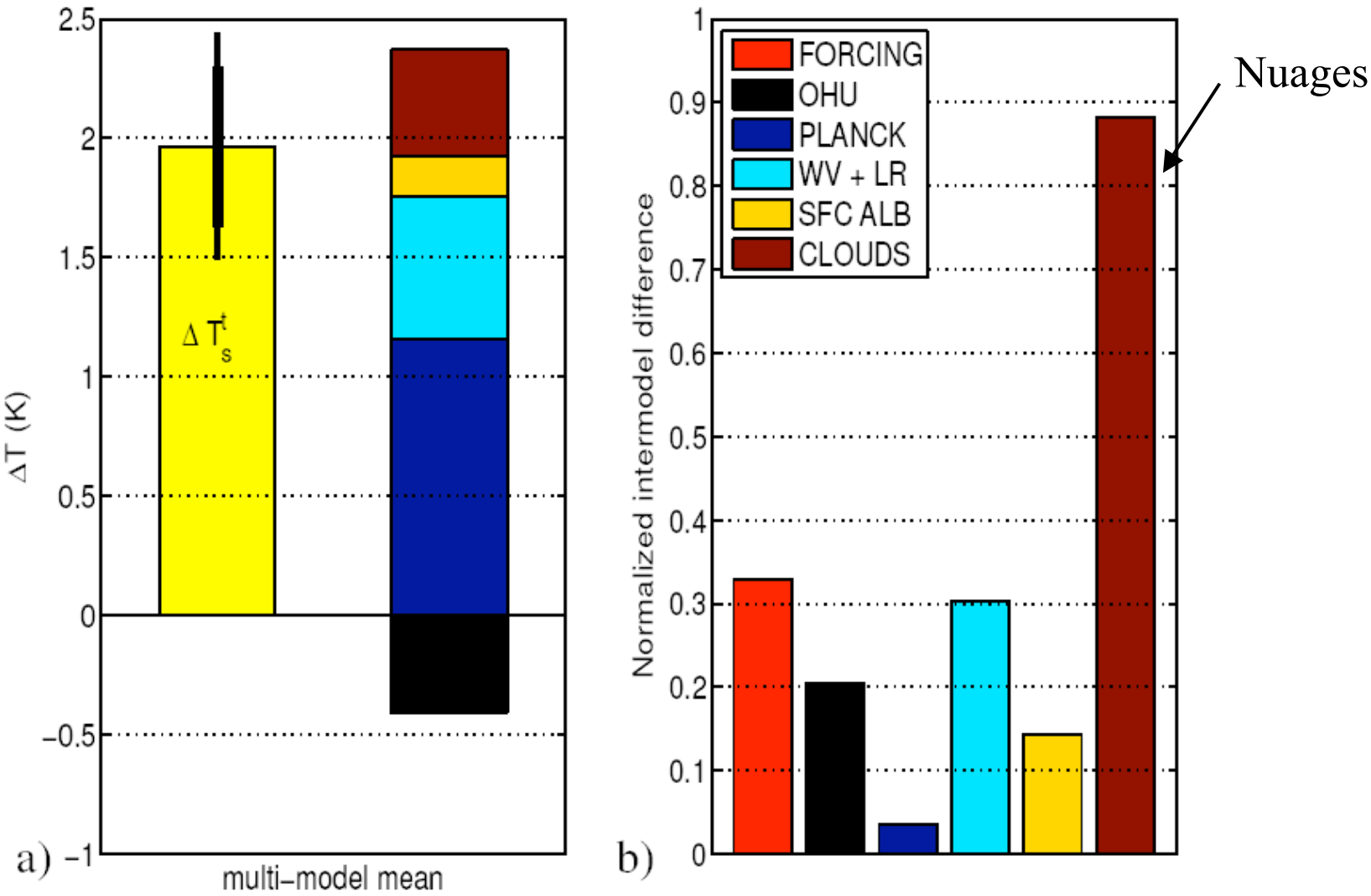


Réchauffement global prédit par différents modèles climatiques pour une augmentation donnée du CO_2 :

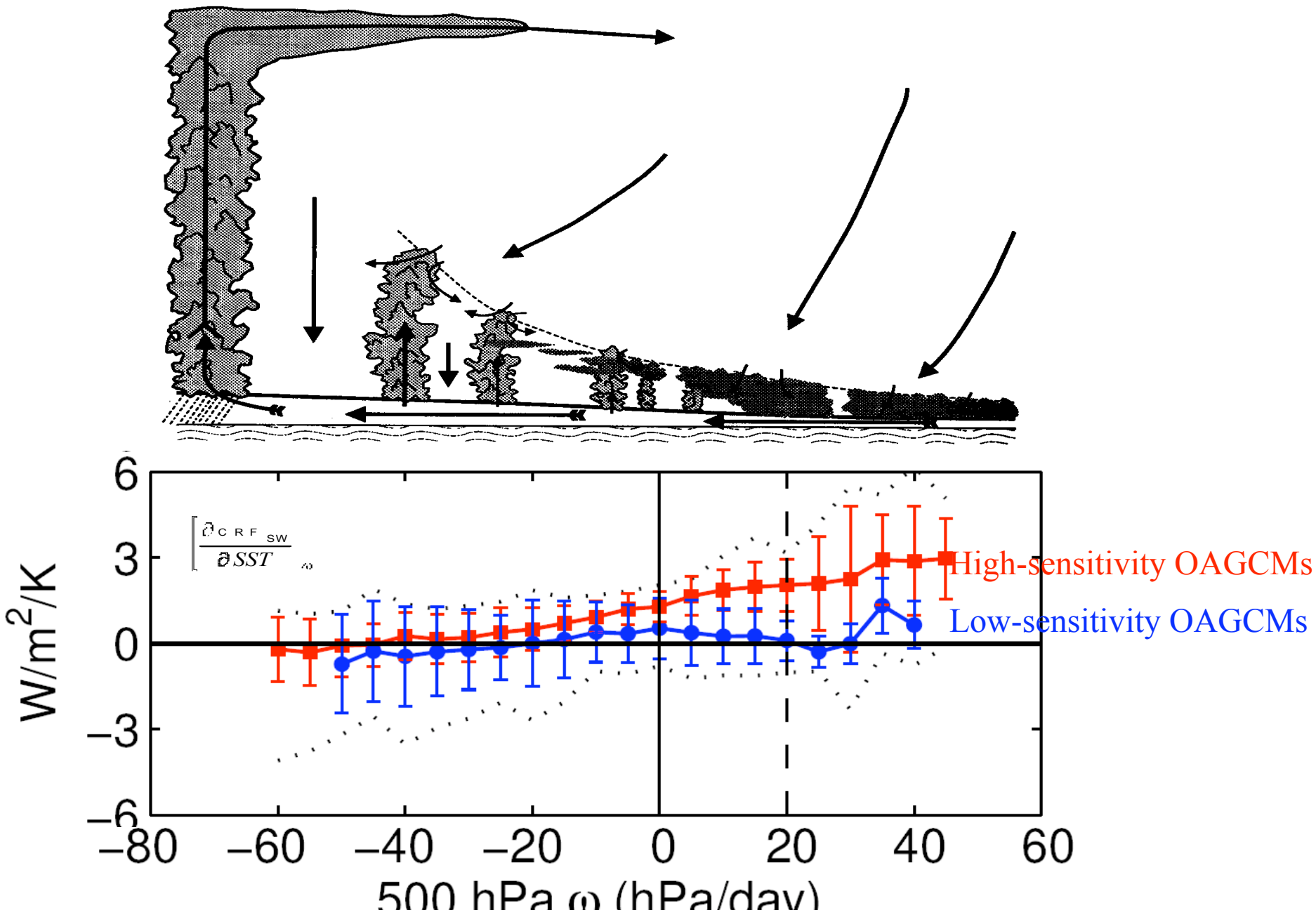


CIEC

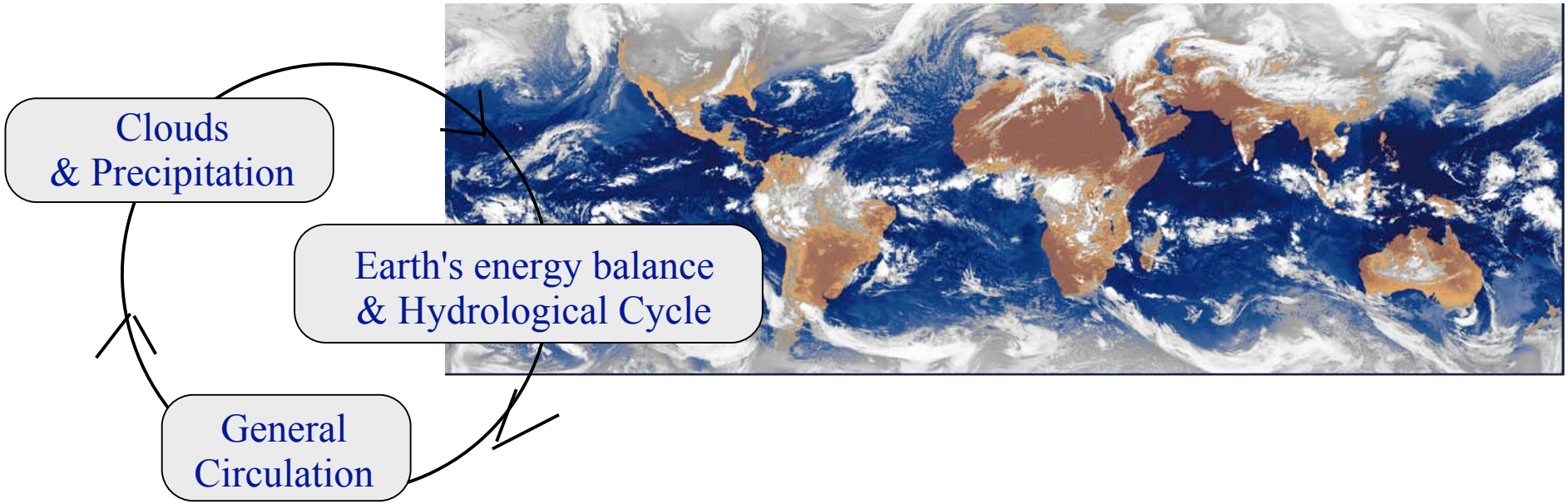
Incertitude sur la sensibilité climatique : Rétroactions



Réponse des nuages au réchauffement climatique :



Sensibilité climatique et rétroactions



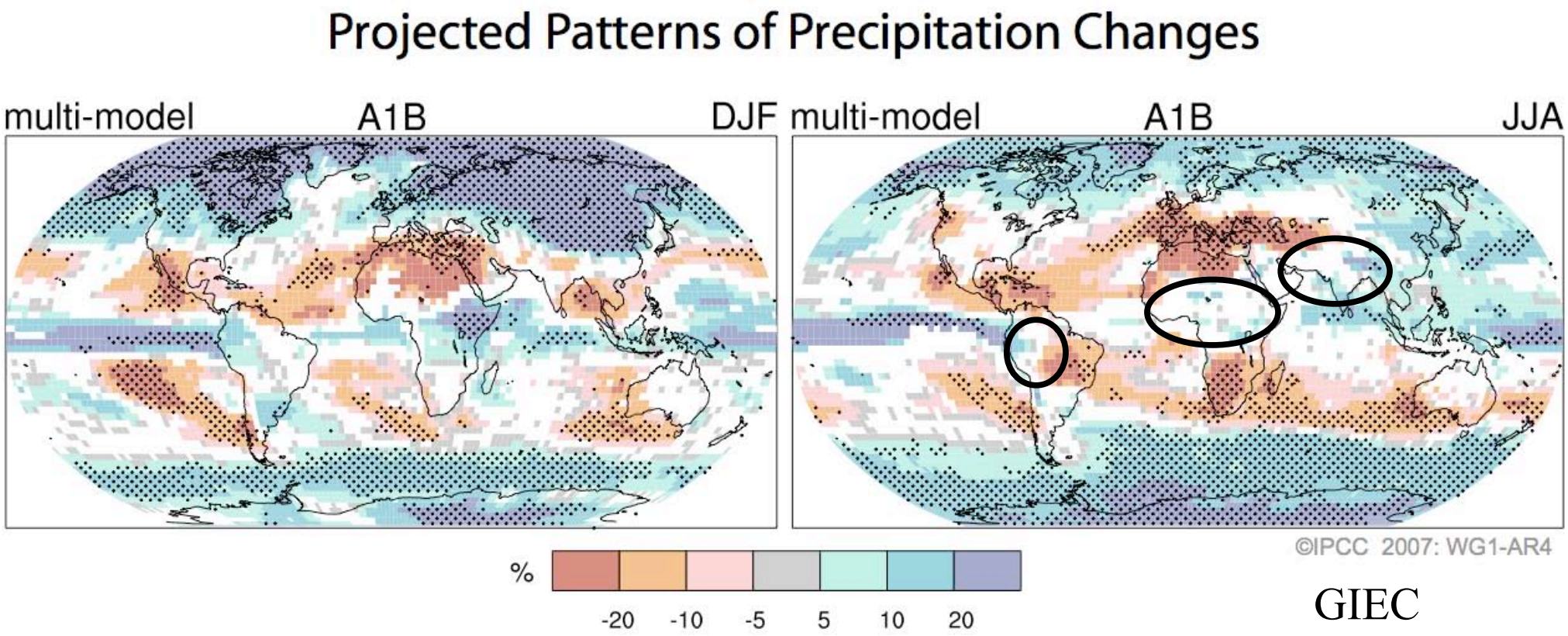
- Quantification des forçages et rétroactions dans CMIP5 ?
(scénarios & expériences idéalisées, runs Pinatubo, runs paléo ..)

- Interprétation des différences inter-modèles de sensibilité climatique et des rétroactions nuageuses dans CMIP5 ? Crédibilité des rétroactions nuageuses ?

- Compréhension de la réponse des nuages au réchauffement global prédite par les modèles du CNRM et de l'IPSL ?

- Rôle des rétroactions nuageuses en régions polaires ?

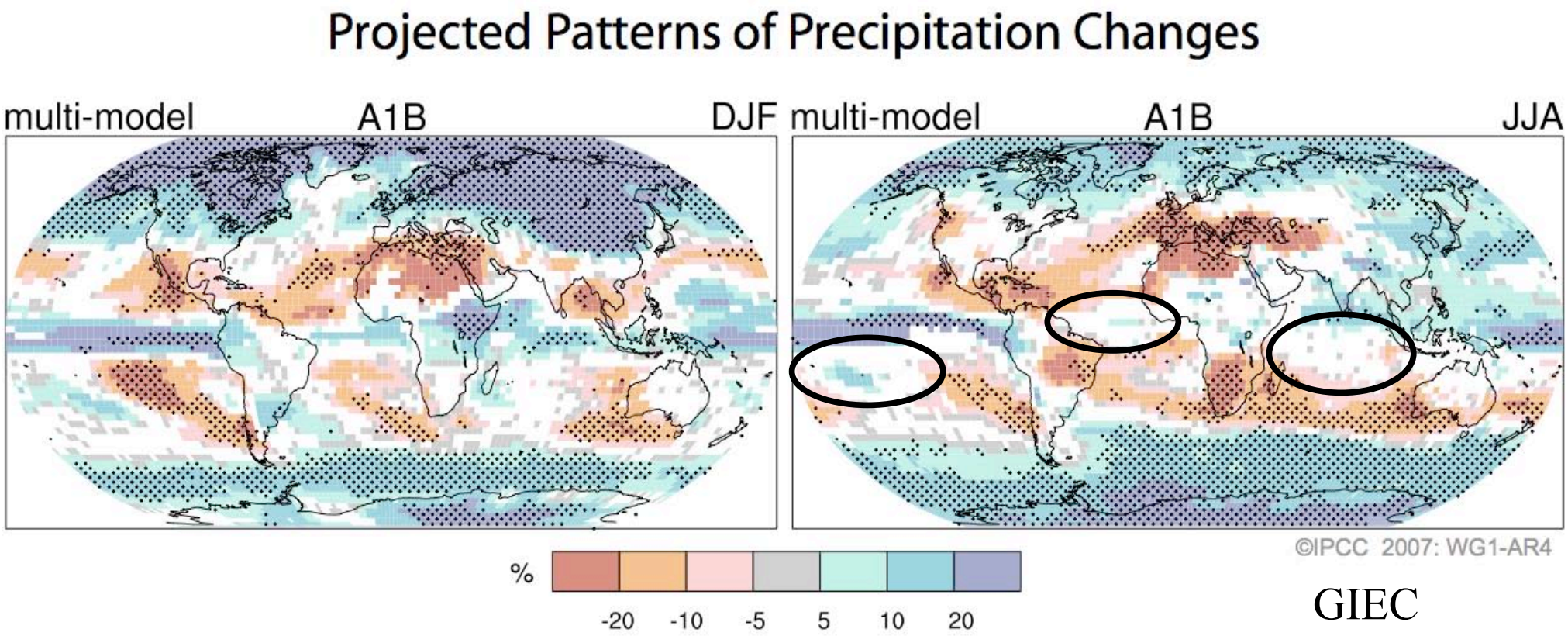
Incertitude sur les changements de précipitation



GIEC
2007

Forte incertitude dans les Tropiques

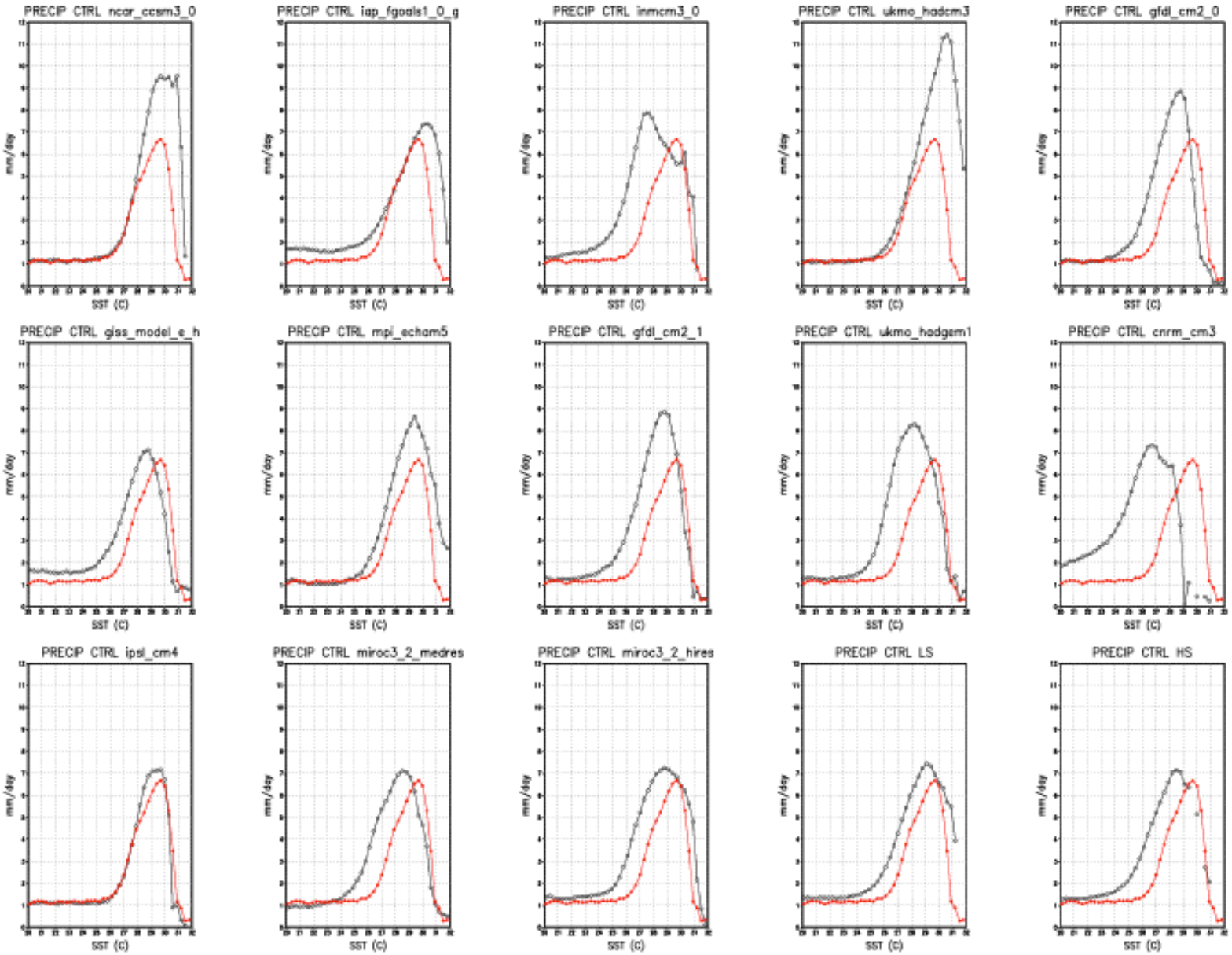
Incertitude sur les changements de précipitation



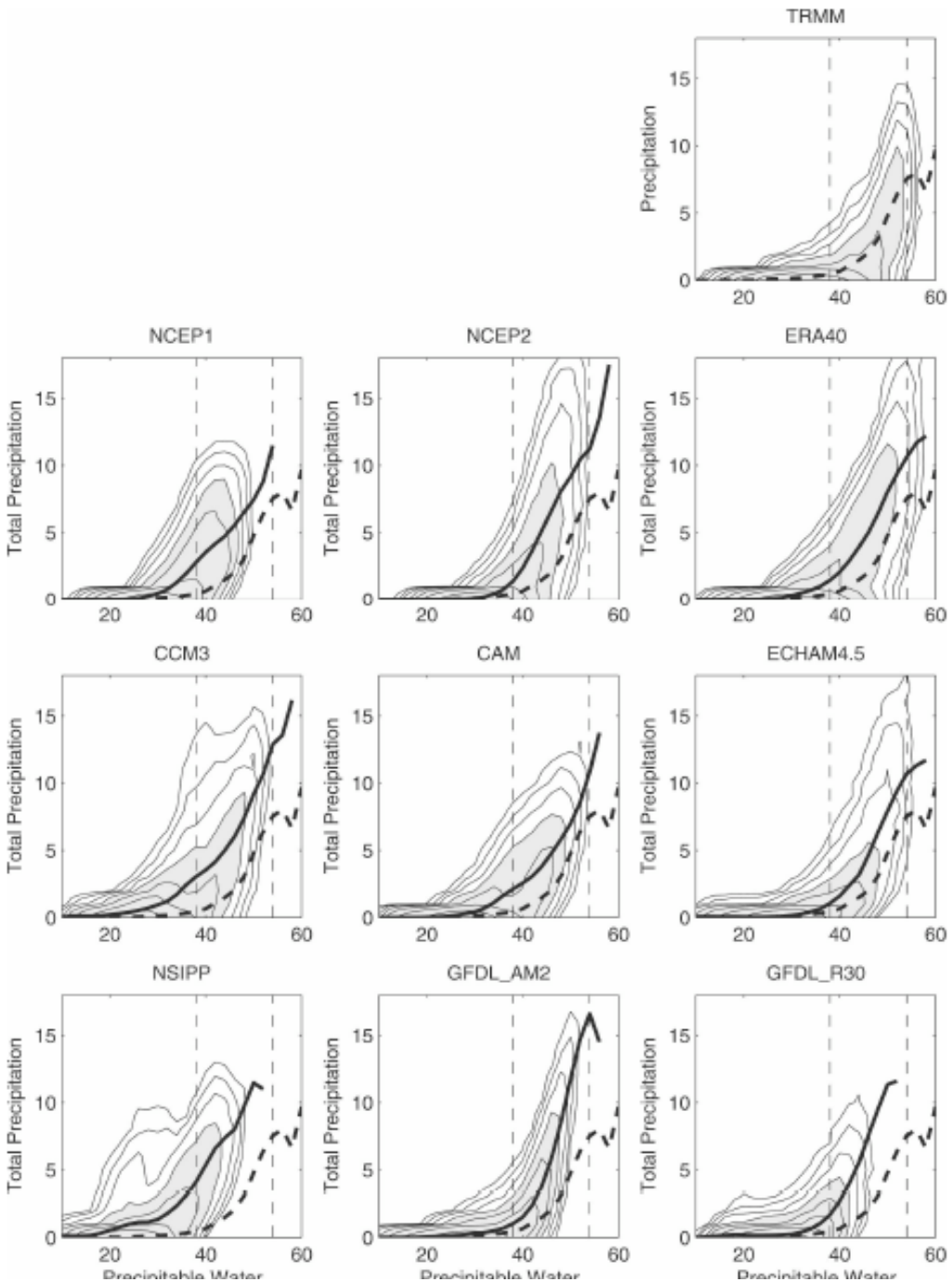
GIEC
2007

Forte incertitude dans les Tropiques

Précipitation tropicale vs SST (CMIP3/AR4 GCMs)



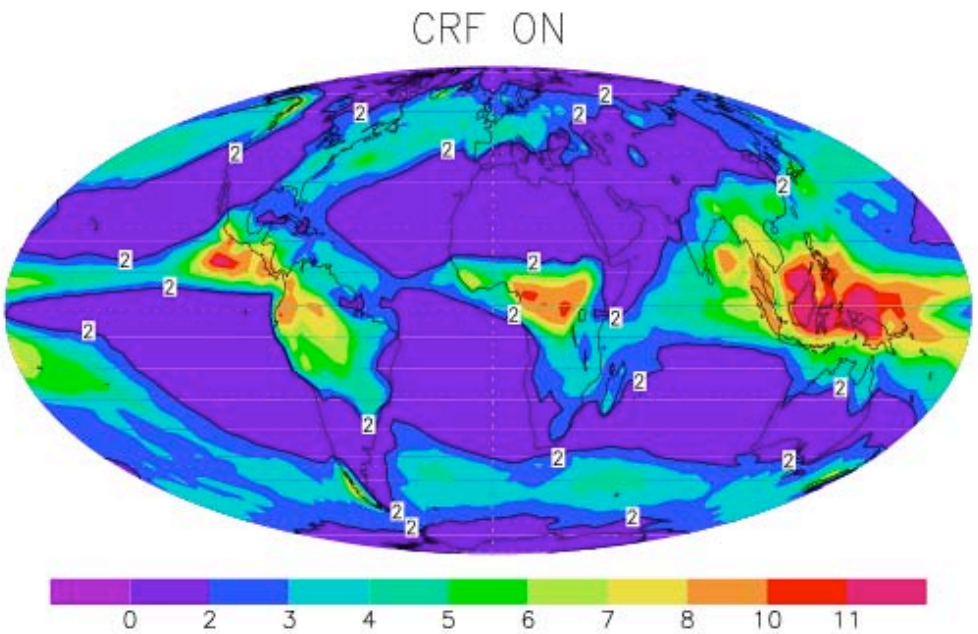
Observations OAGCMs

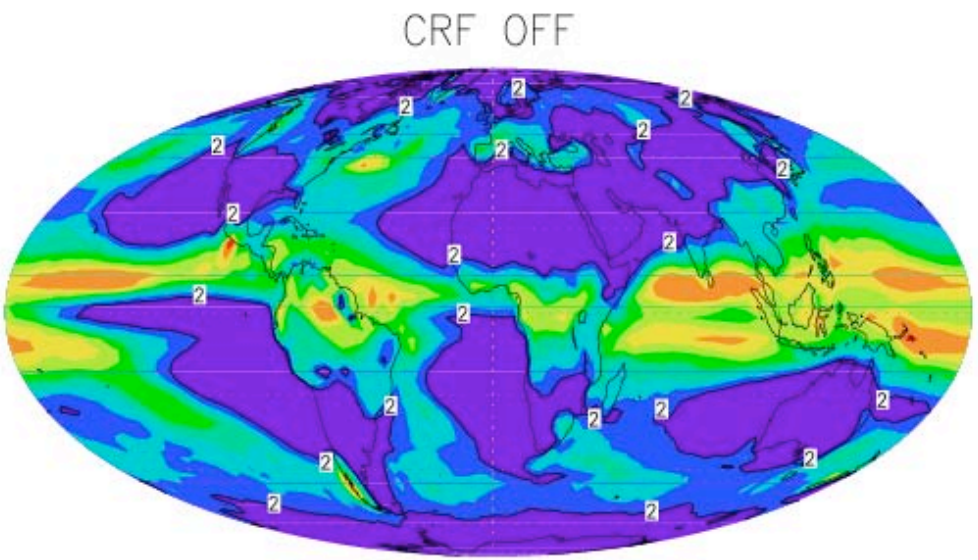


Relation entre humidité et précipitation au-dessus de l'Atlantique tropical

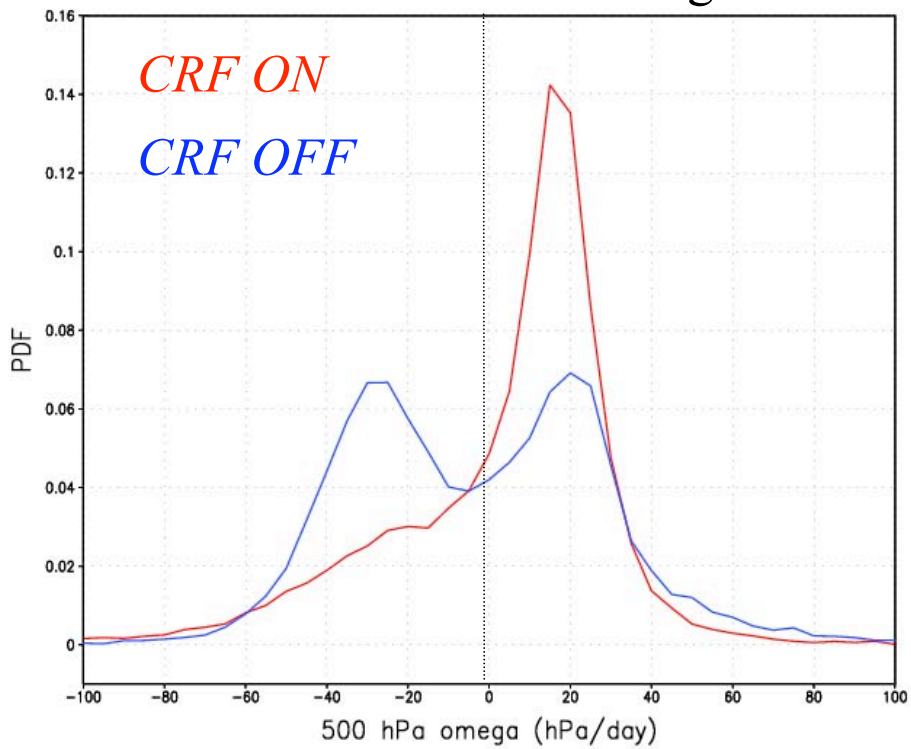
(Biasutti et al., 2006)

Impact of the atmospheric cloud radiative forcing on GCM-simulated tropical climate





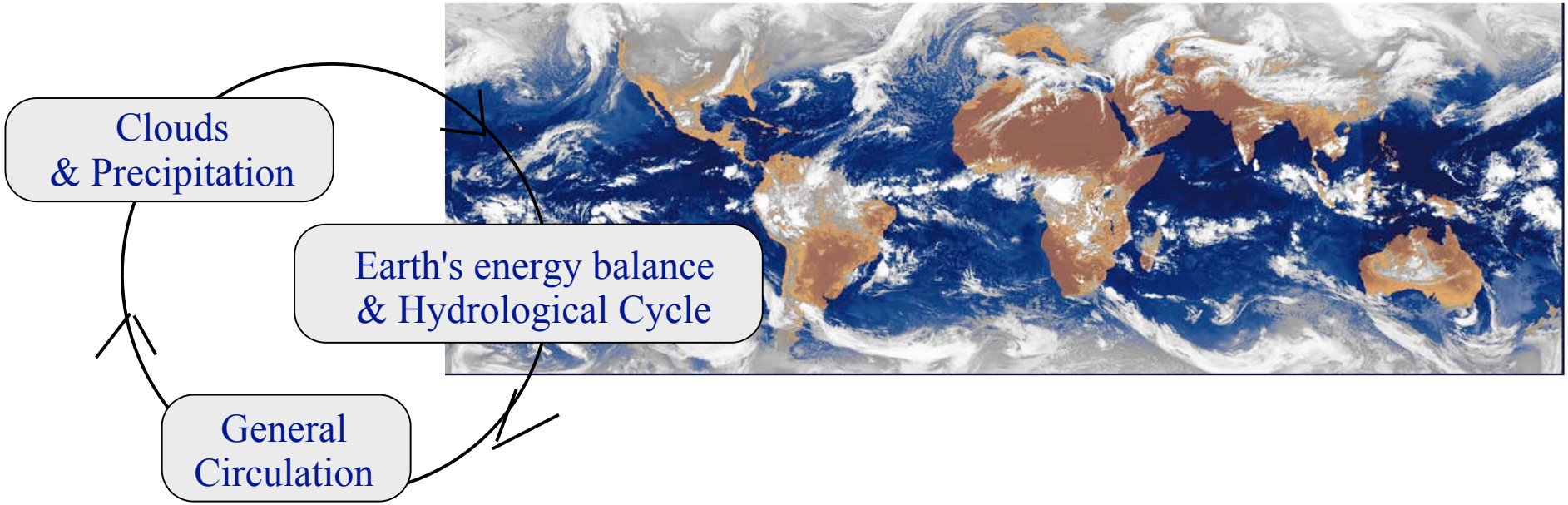
PDF of 500hPa omega



Aconv ≈ 0.3; Aconv ≈ 0.5

Cloud-radiative effects strengthen the Hadley-Walker circulation and

Circulation atmosphérique, précipitation & extrêmes



- Sur océans (simulations 3D CMIP5 / aqua-planète / 1D-WTG):
  - Interprétation des différences inter-modèles de circulation de grande échelle (e.g. ITCZ) ?
  - Compréhension de la réponse de la précipitation au changement climatique ?
    (e.g Clausius-Clapeyron vs flux de surface, effets radiatifs..)

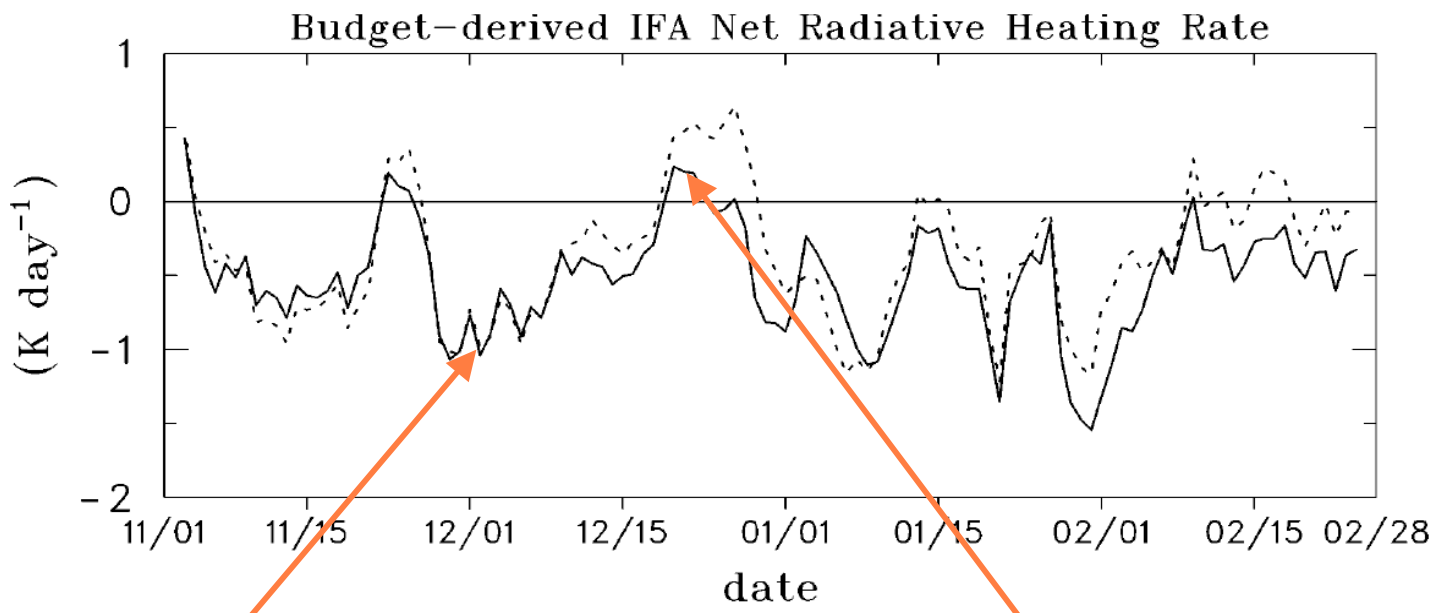
- Sur continents :
  - Rôle des interactions humidité du sol / nuages dans l'occurrence des canicules (Europe)?
  - Compréhension de la réponse des moussons aux forçages aérosols, GHGs, land-use ?

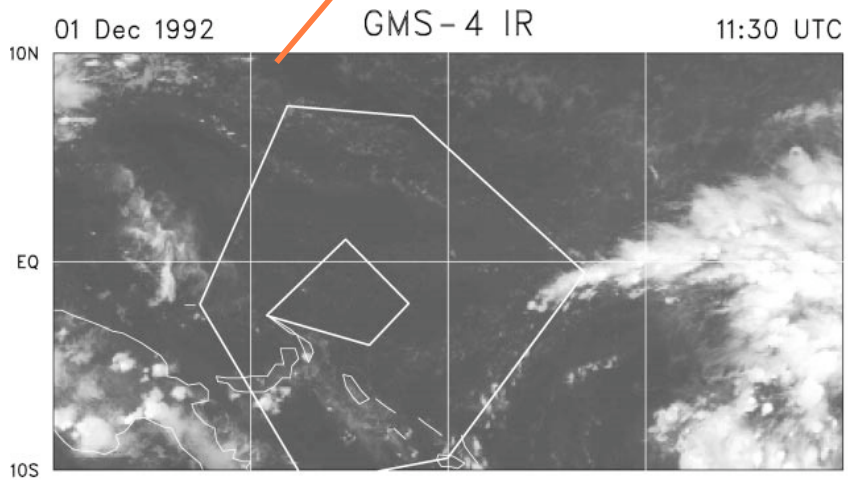
- Utilisation des isotopes de l'eau pour l'évaluation :
  - des interactions humidité – convection (réévaporation, détrainement)

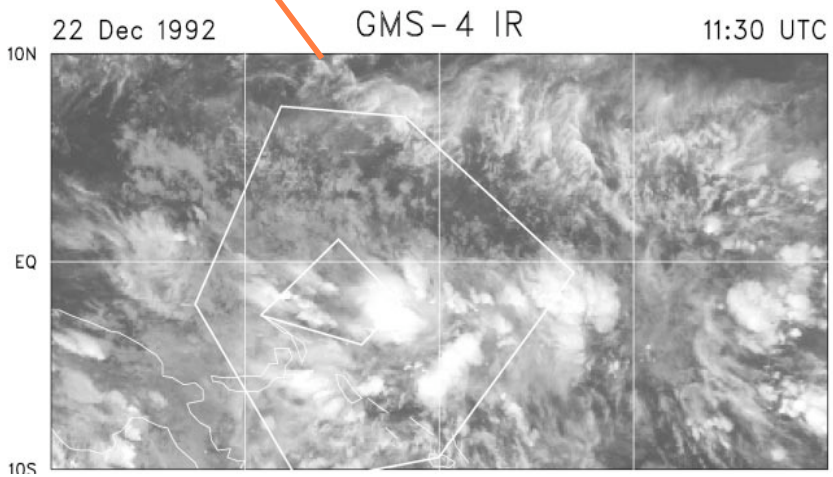
TOGA COARE :

Tropospheric Radiative Heating Rate

(Johnson and Ciesielski, JAS, 2000 ; Ciesielski et al., JAS, 2003)

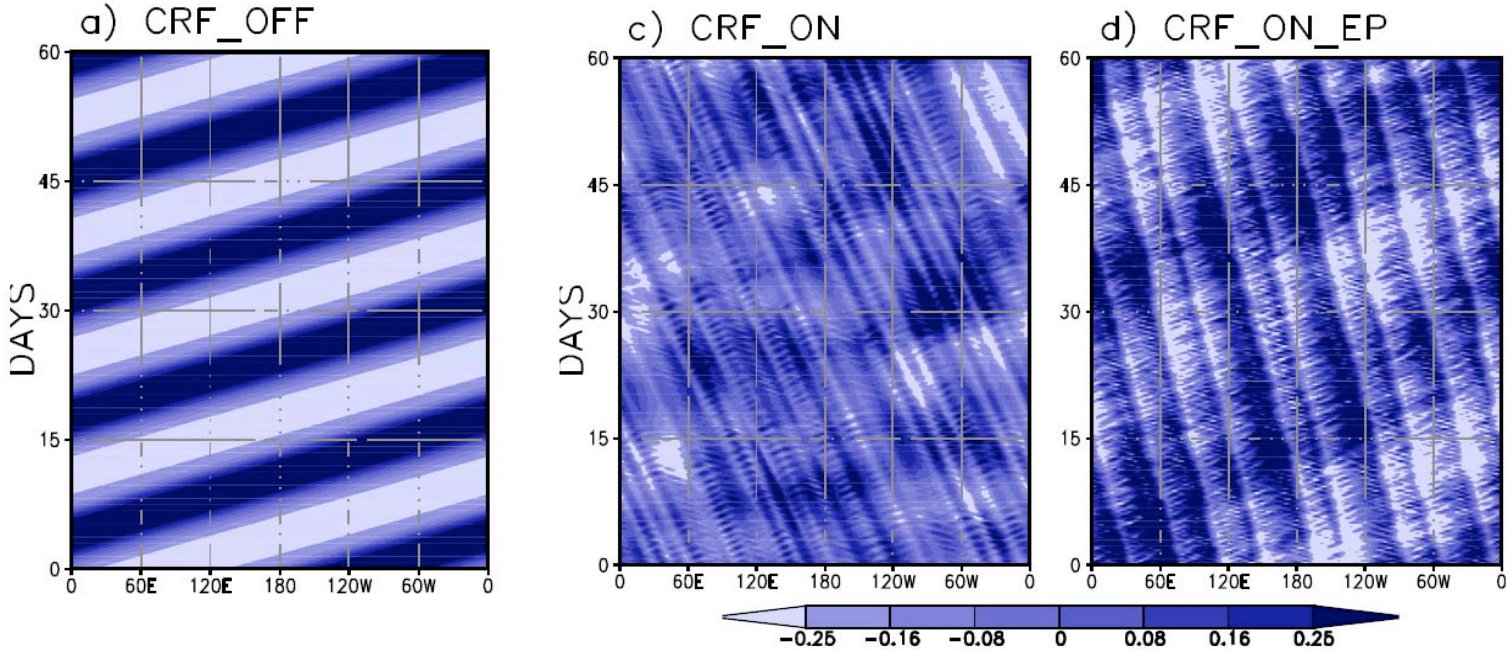


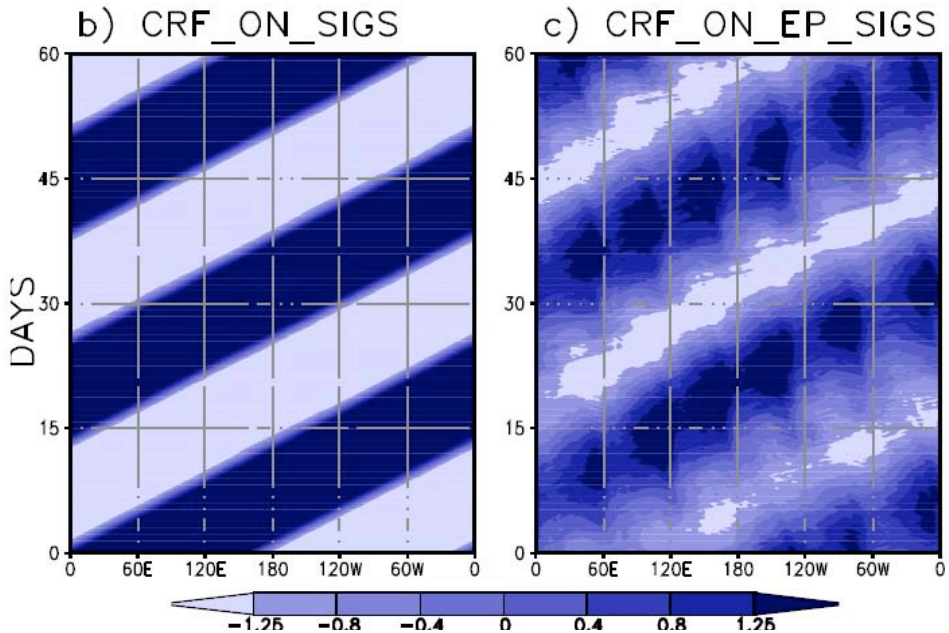




Rôle des processus nuageux dans la variabilité tropicale (e.g. intra-saisonnière)

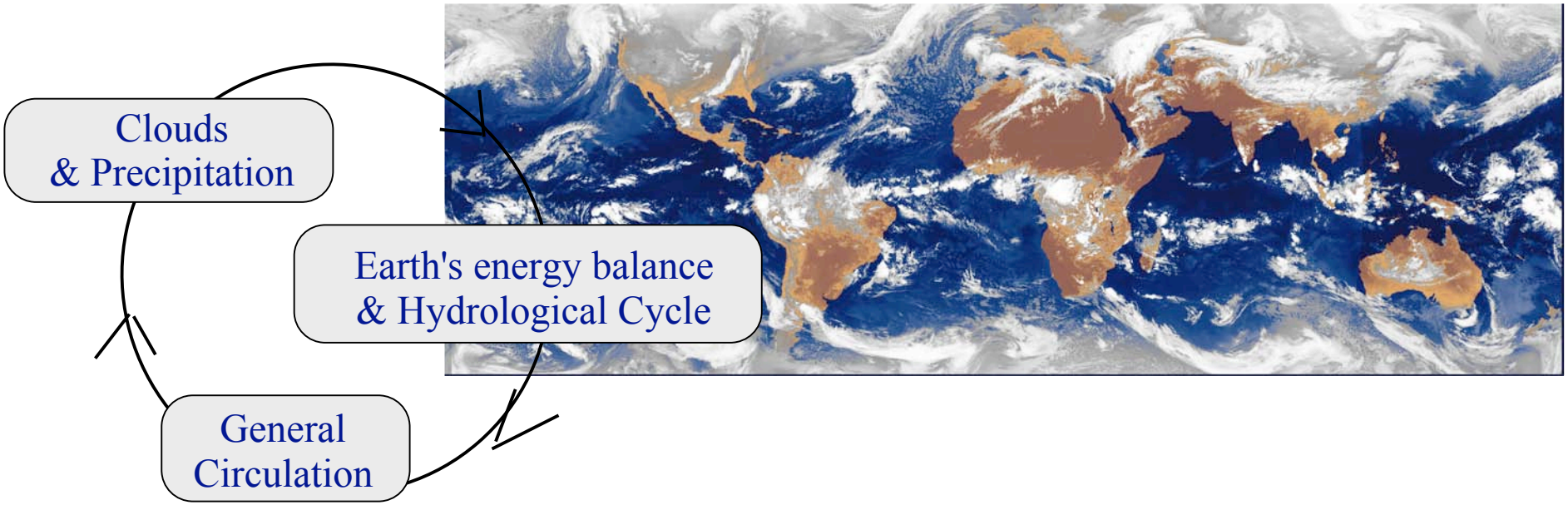
Simulations 2D
aqua-planète





Importance des interactions
<u>nuages - rayonnement</u> et
<u>vapeur d'eau – convection</u>
dans l'organisation à grande échelle
et la variabilité de l'atmosphère tropicale

Processus nuageux et variabilité climatique



- Variabilité intra-saisonnière (MJO, breaks de mousson..)
- ENSO (rétroactions physiques vs dynamiques)
- Exploration du rôle de l'organisation de la convection ?
  (paramétrisation des poches froides -> agrégation, propagation)

Trois grands thèmes d'analyse :

- Sensibilité climatique et rétroactions
- Processus nuageux et circulation atmosphérique
- Processus nuageux et modes de variabilité

Nouveaux outils / approaches pour les aborder :

- Pour l'évaluation :
  - Simulateur COSP + observations spatiales de l'A-Train (+ bientôt Megha-Tropique)
  - Sites instrumentés et campagnes de terrain (SIRTA, ARM, AMMA..)
  - Evaluations en mode prévision
  - Isotopes de l'eau (processus, climat)

- Pour la compréhension des mécanismes physiques :
  - ensemble de simulations CMIP5
  - hierarchie de modèles et d'expériences (e.g. couplé/forcé/aquaplanète, WTG)

- Nouvelles paramétrisations (e.g. poches froides et thermiques dans LMDZ)

- Modèles explicites de nuages (CRMs, LES) -> expériences idéalisées

Contexte international :

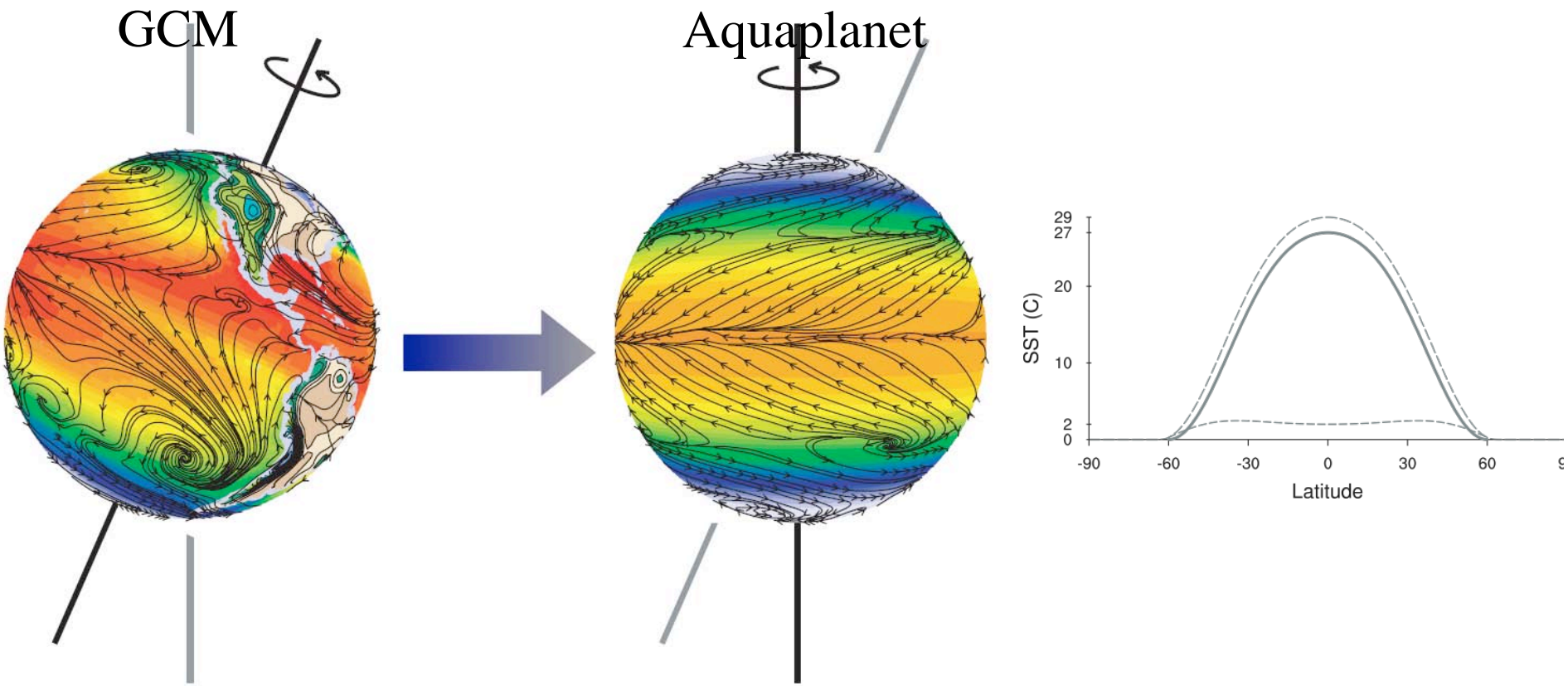
Nouveaux outils pour aborder ces questions :

- Simulateur COSP + observations spatiales de l'A-Train (+ bientôt MT?)
- CMIP5 + hierarchie de modèles et d'expériences (e.g. aquaplanète, WT(
- Modèles explicites de nuages (CRMs, LES)
- Nouvelles paramétrisations de LMDZ (e.g. poches froides, thermiques)
- Isotopes de l'eau (processus, climat)
- Sites instrumentés et campagnes de terrain (SIRTA, ARM, AMMA..)

Cadre :

- CFMIP (Cloud Feedback Intercomparison Project)
- GCSS (GEWEX Cloud System Study)
- EUCLIPSE (projet européen FP7 CFMIP-GCSS) [?]
- SWING (Stable Water Isotopes In GCMs)
- PMIP (Paleoclimate Model Intercomparison Project)
- etc

Exemple de simulations idéalisées : simulations aqua-planète



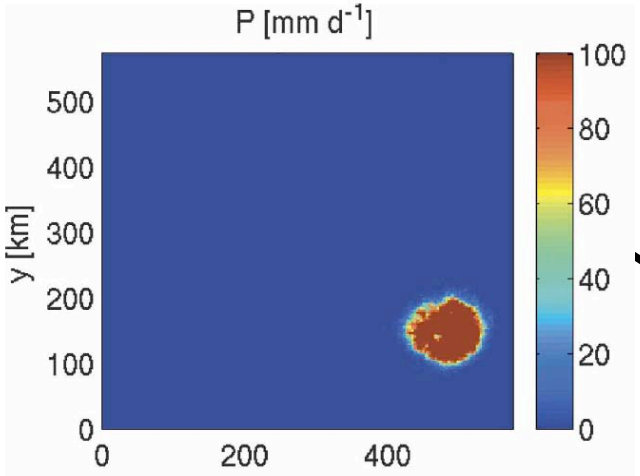
-> Comprendre la réponse des nuages au réchauffement global

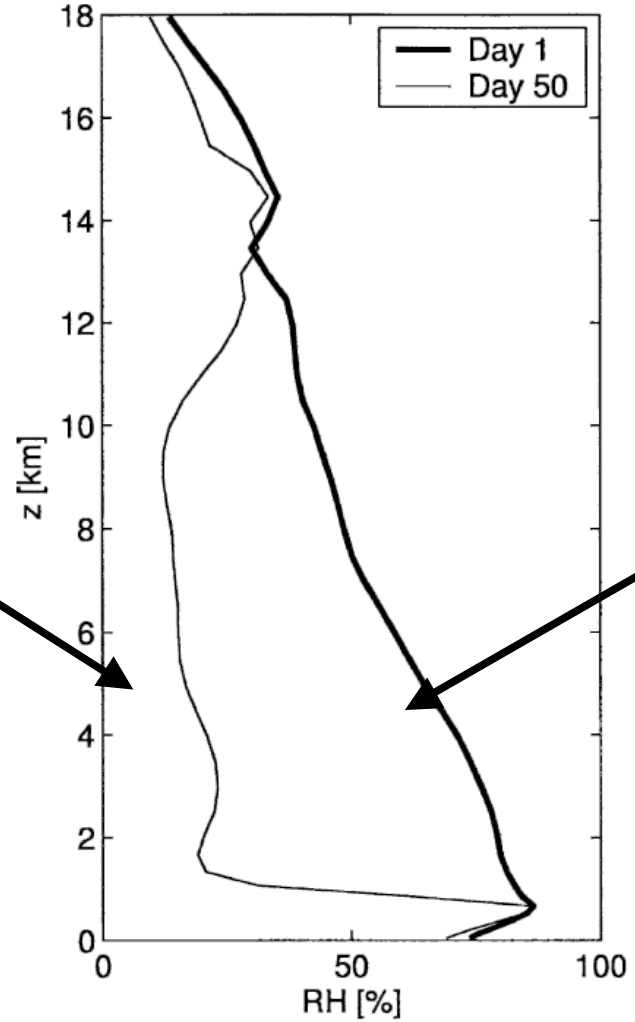
... et bien d'autres aspects des relations nuages - climat

Impact de l'auto-aggregation (organisation) de la convection ?

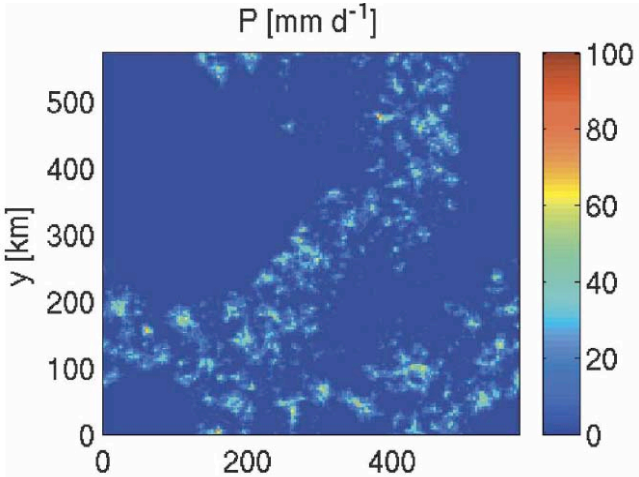
Profil de RH
à l'équilibre radiatif-convectif

Avec aggregation





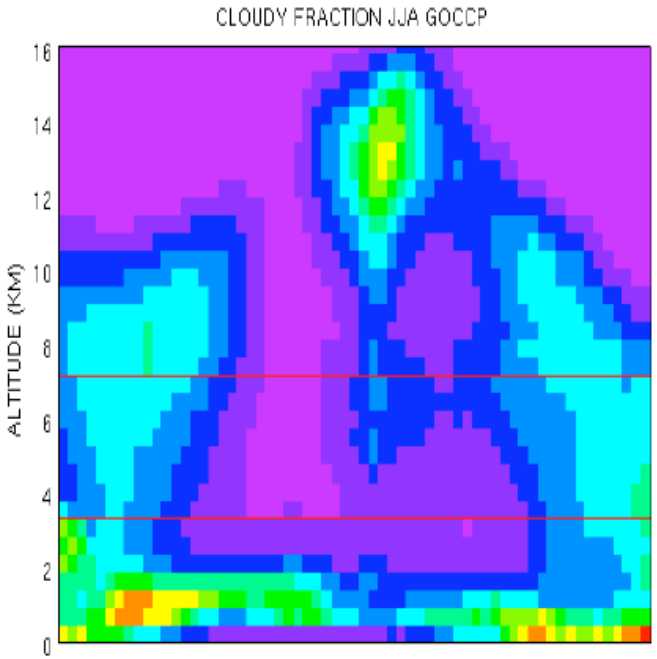
Sans aggregation

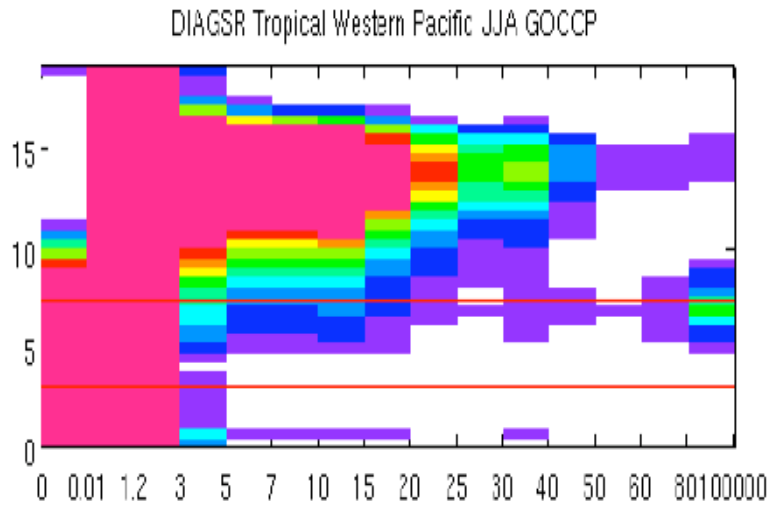


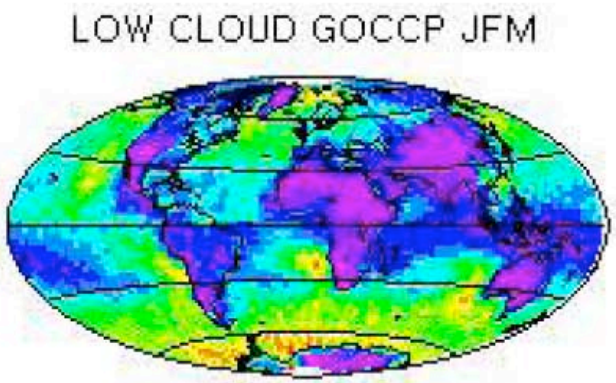
(Bretherton et al., 2005)

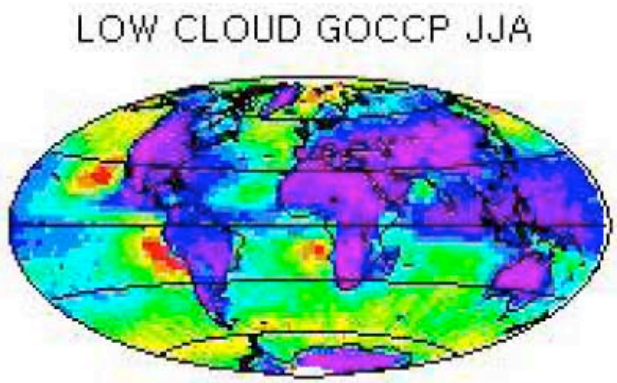
Observations de l'A-Train (CALIPSO, CloudSat, Parasol) & COSP (CFMIP Observations Simulator Package)

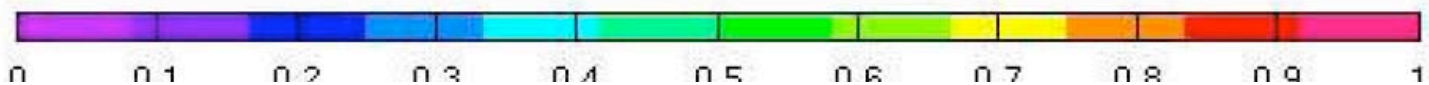
GOCCP :
GCM-oriented Calipso Cloud Product





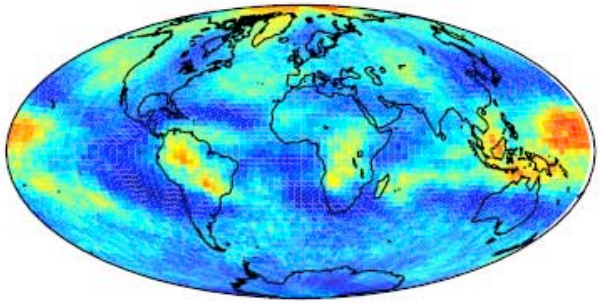




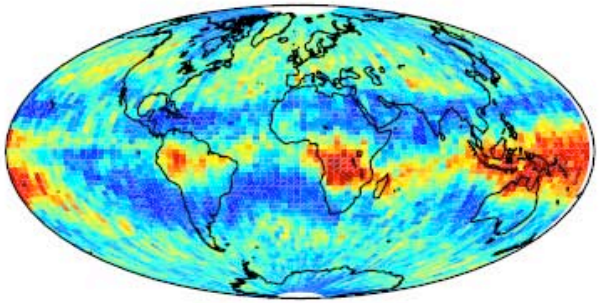


Observations de l'A-Train (CALIPSO, CloudSat, Parasol) & COSP (CFMIP Observations Simulator Package)

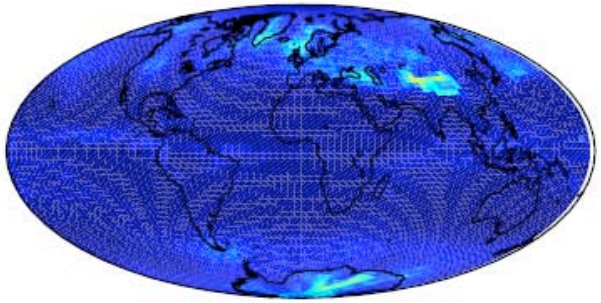
(a) HIGH CLOUDS : GCM + LIDAR SIMULATOR



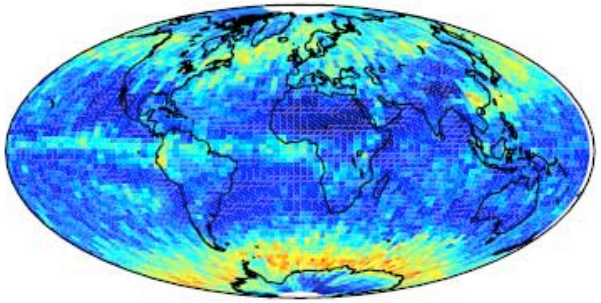
(b) HIGH CLOUDS CALIOP



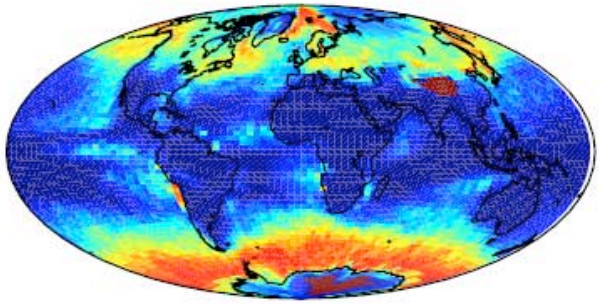
(c) MID CLOUDS : GCM + LIDAR SIMULATOR



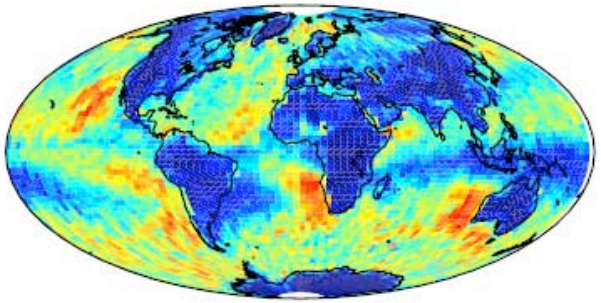
(d) MID CLOUDS CALIOP



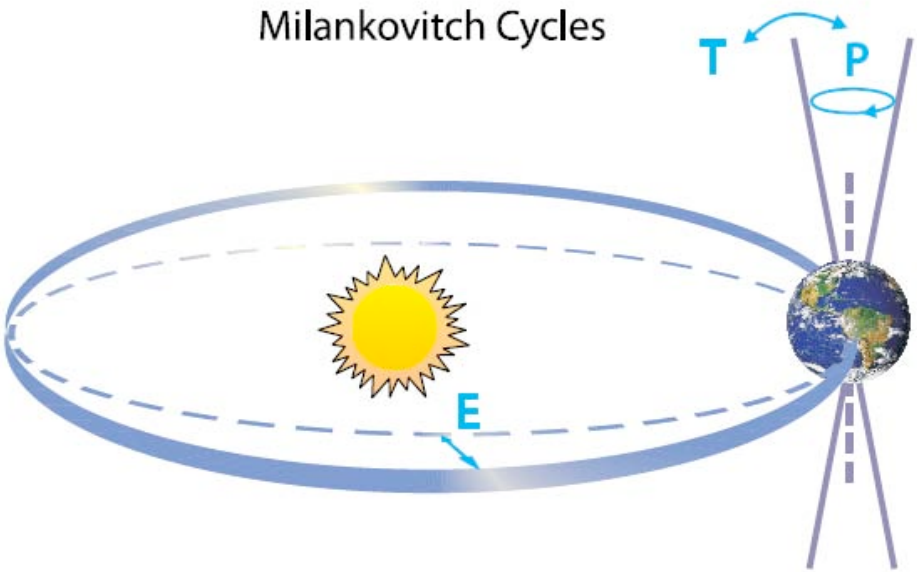
(e) LOW CLOUDS : GCM + LIDAR SIMULATOR

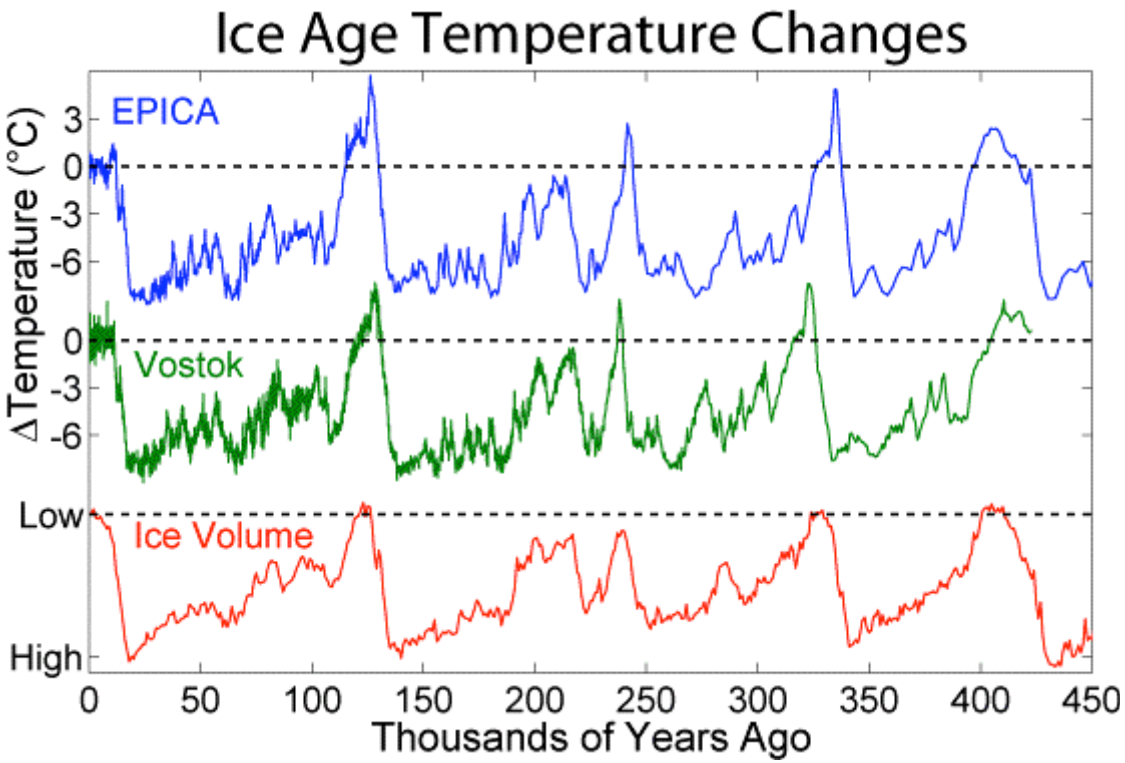


(f) LOW CLOUDS CALIOP



Tests observationnels de la sensibilité climatique



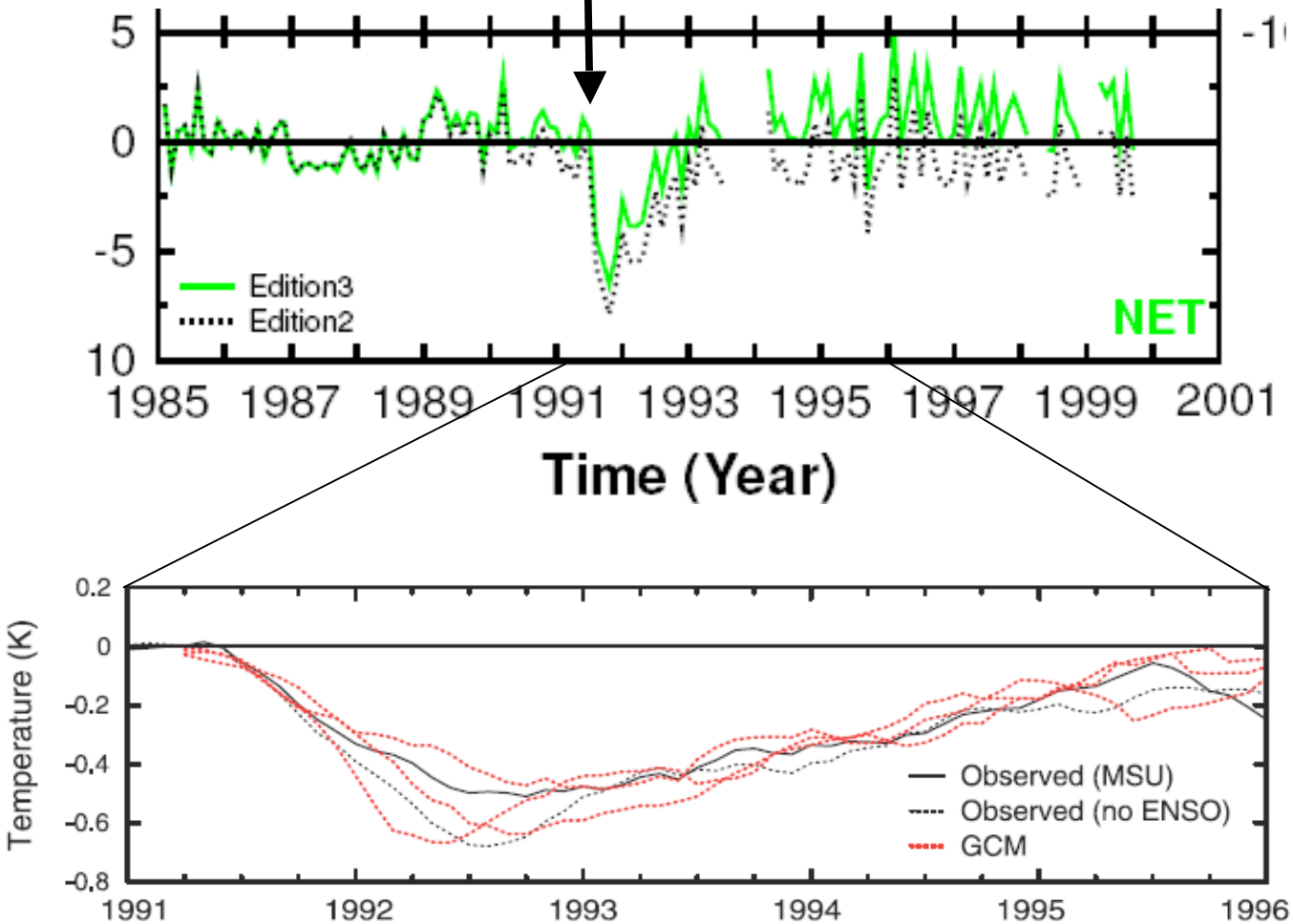


-> Simulations paléo (PMIP) de CMIP5 (DMG, Holocène, dernier millénaire)

Tests observationnels de la sensibilité climatique

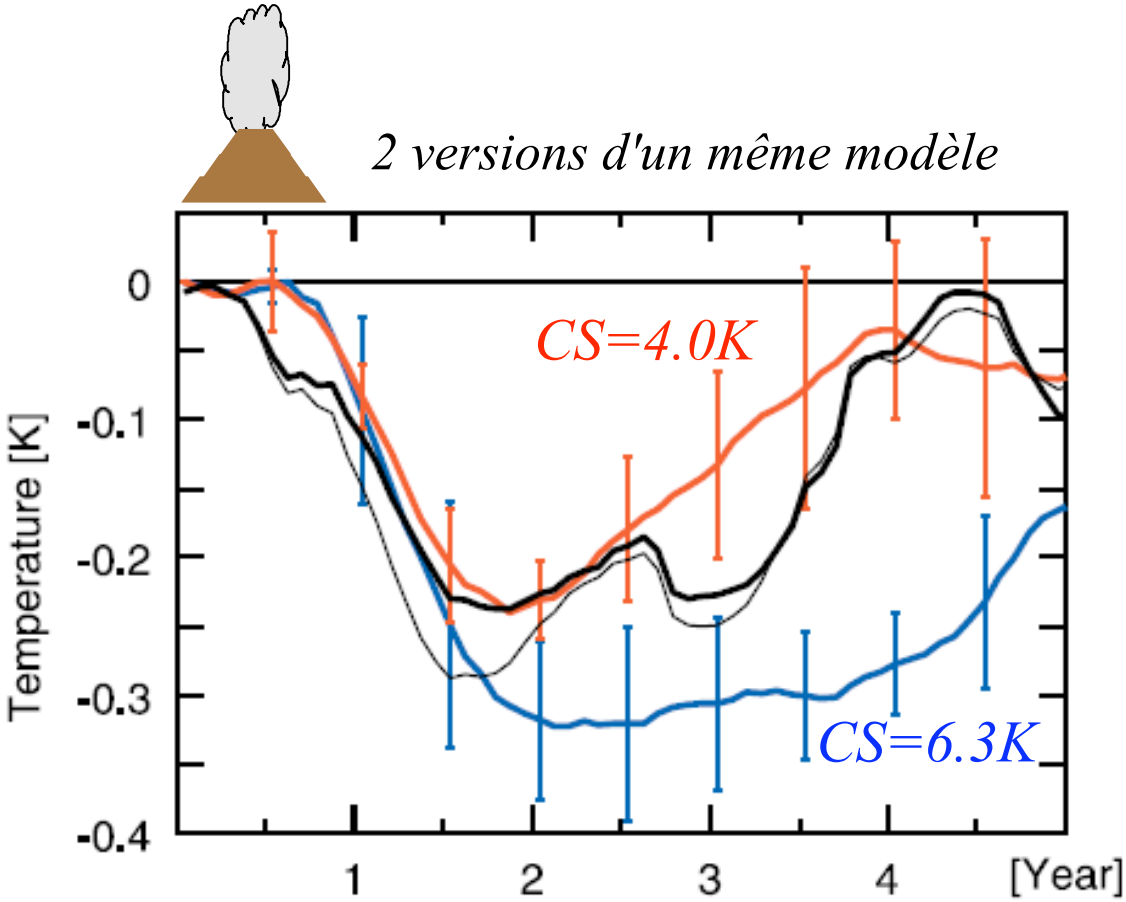
Pinatubo, 1991

Juin 1991 : Eruption du Mont Pinatubo



Tests observationnels de la sensibilité climatique

Pinatubo, 1991



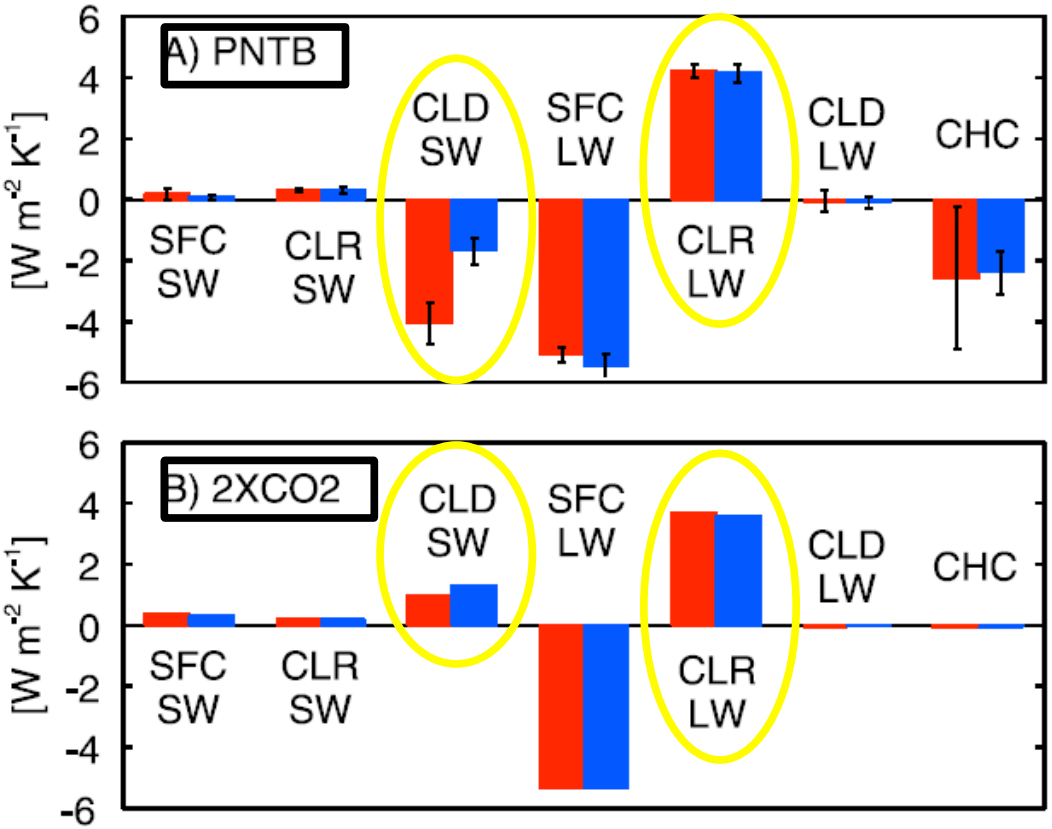
MIROC GCM *(Yokohata et al. 2005)*

> Simulations 20ème siècle de CMIP5 avec forcages volcaniques

Possibilité de contraindre les rétroactions climatiques ?

Pinatubo, 1991

Analyse des rétroactions :

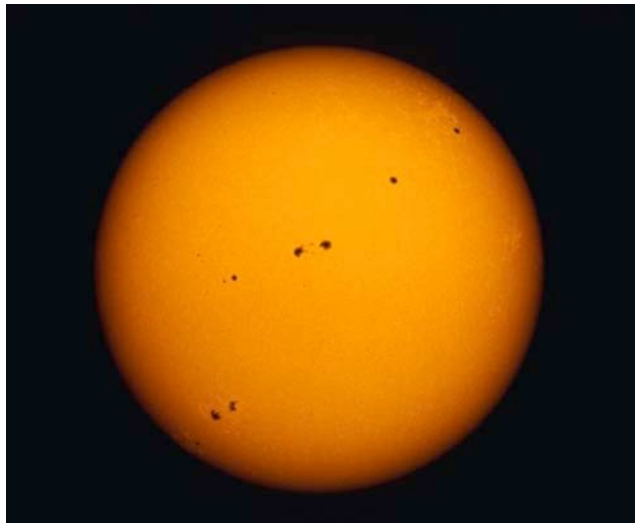


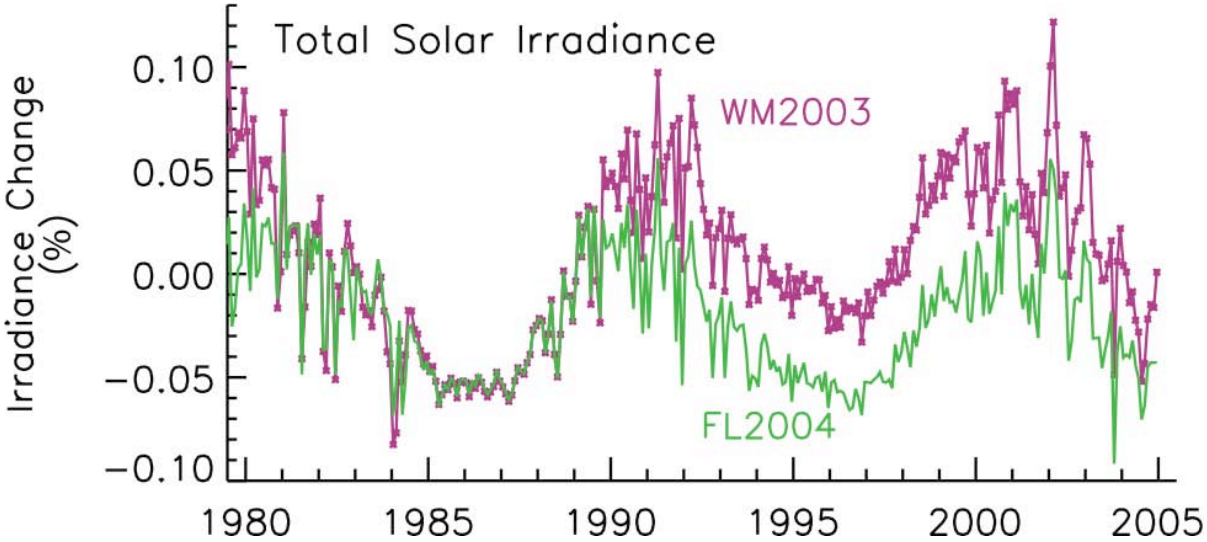
MIROC GCM *(Yokohata et al. 2005)*

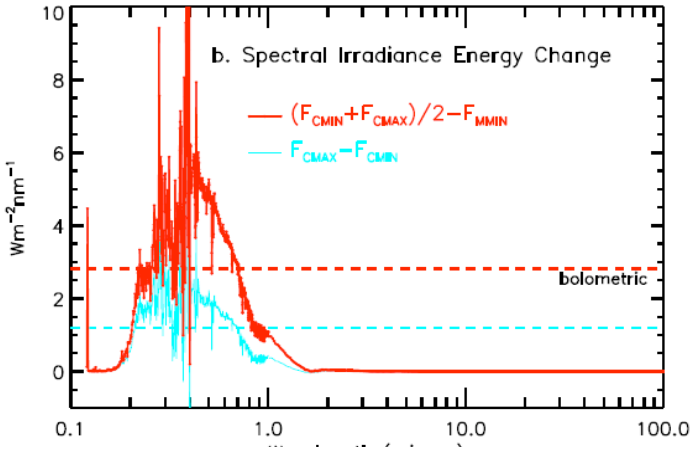
-> Intérêt de comparer les rétroactions/réponses associées à différents types de perturbations climatiques (Pinatubo, paléo, CO2, ...)

Tests observationnels de la sensibilité climatique

Influence des variations d'irradiance solaire sur le climat ?
(plus une investigation qu'un test)





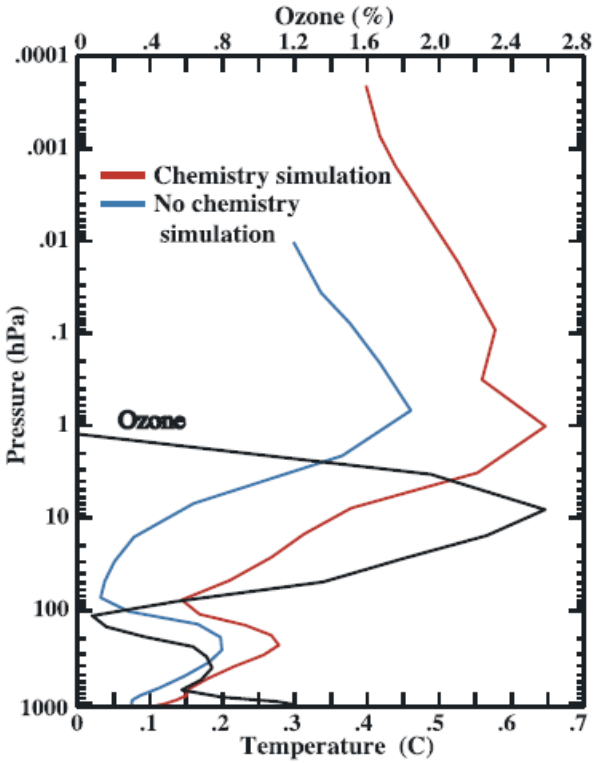


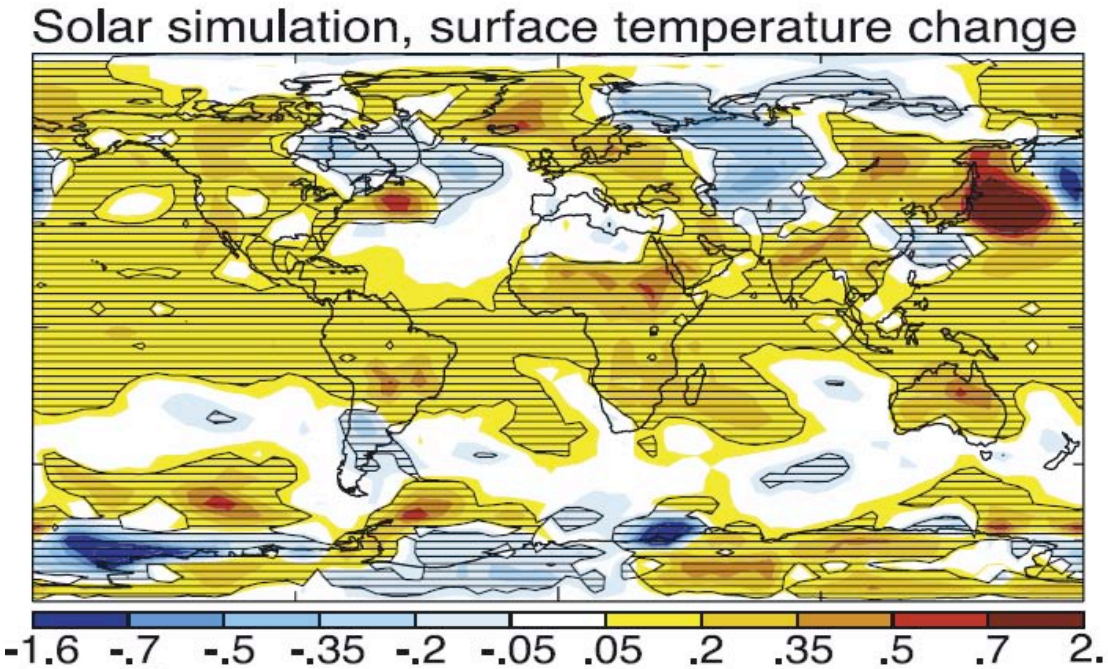
Cycle de 11 ans :
variations irradiance solaire : 1.1 W/m^2 (environ 0.1 %)
forçage radiatif du climat : 0.2 W/m^2

Variations spectrales de l'irradiance solaire :
amplification de l'impact climatique via interactions chimie (ozone)-climat ?

Réponse climatique au forçage solaire simulée avec couplage océan-atmosphère, variations UV, et chimie interactive

(Shindell et al. 2006)



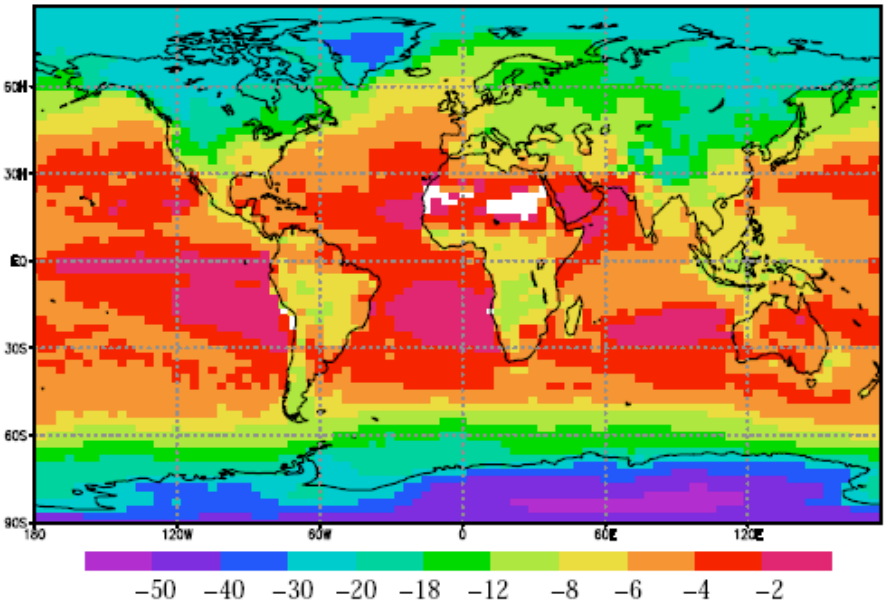


- Le couplage UV-ozone-climat amplifie la réponse en température de la stratosphère, de la haute troposphère et (dans une moindre mesure) de la surface + changements dans la dynamique atmosphérique.

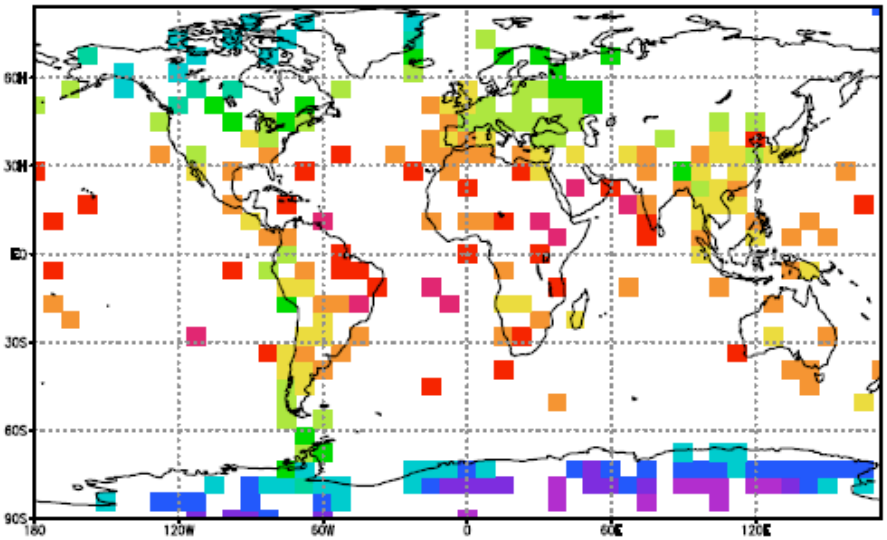
- Variation d'irradiance solaire de +1.1 W/m^2 (forçage de +0.2 W/m^2) à l'équilibre :
  ΔTs = +0.08 C sans chimie, ΔTs = +0.10 C avec chimie ie +20% env.
  Δprécipitation : qualitativement similaires à ceux obtenus pour un forçage GHG
  Sensibilité μ [K (W/m^2)$^{-1}$] : 0.3 sans chimie, 0.5 avec chimie, 0.4 pour GHGs en transitoire

Simulation des isotopes de l'eau avec LMDZiso

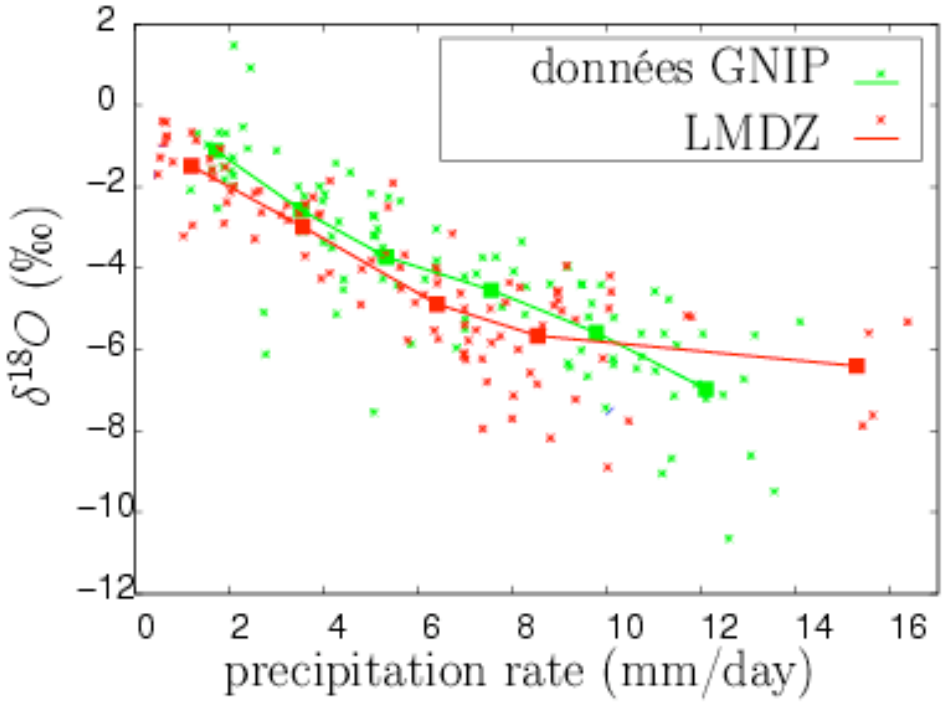
$\delta^{18}O$ (‰) LMDZ



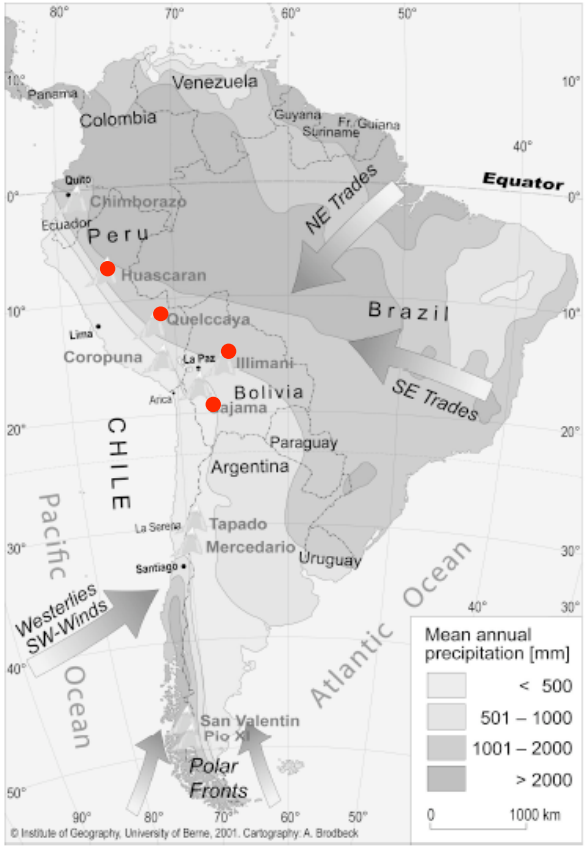
$\delta^{18}O$ (‰) observations



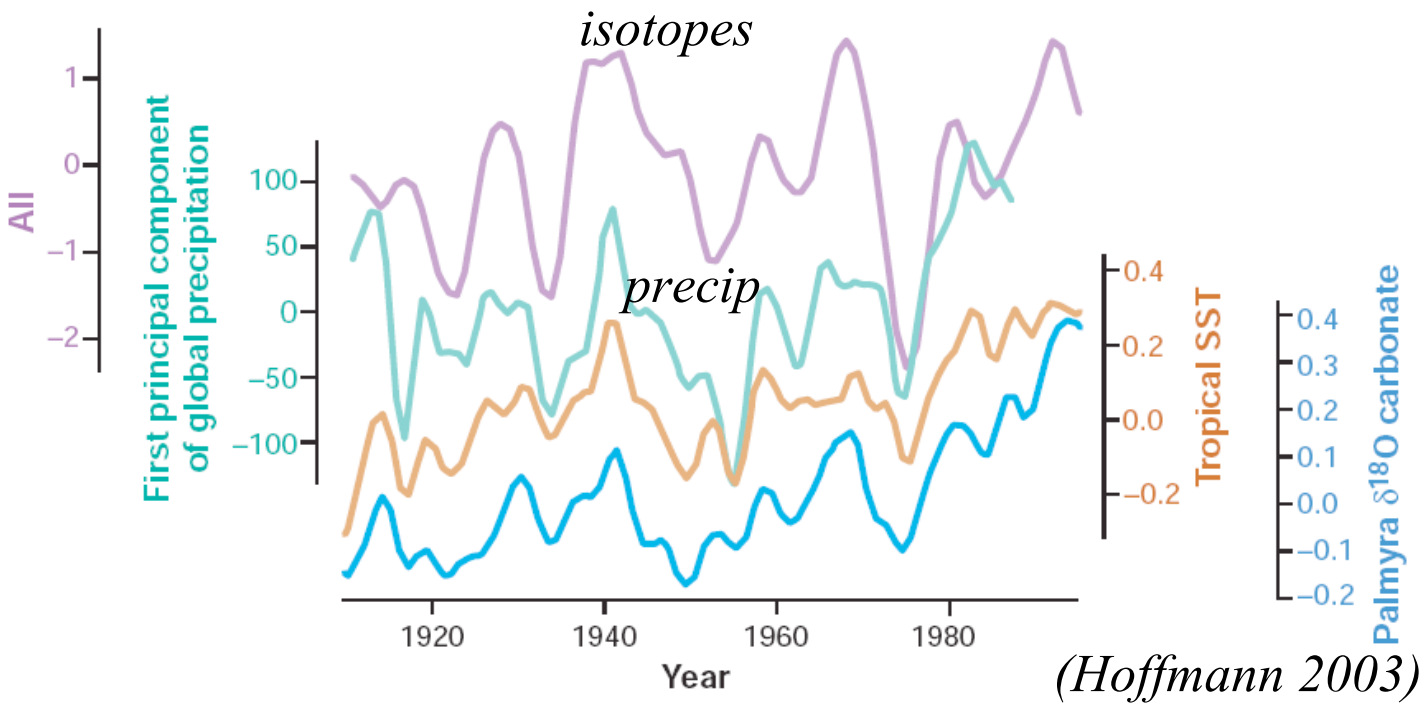
Forte relation précipitation – isotopes dans les Tropiques



Evaluation des changements passés de précipitation via les isotopes de l'eau ?



(Vimeux et al. 2008)



(Hoffmann 2003)

-> Possibilité d'évaluer les changements passés de précipitation ?

Principaux axes de recherche de EUCLIPSE

(EU CLoud Intercomparison, Processes and Satellite Evaluation, soumis Jan2009)
Coopération KNMI, IPSL, CNRM, Hadley, MPI, ECMWF + qq autres

1. Analyse et évaluation des simulations CMIP5 :

- comparaisons avec observations de l'A-Train
- analyse des rétroactions et de la dispersion des sensibilités climatiques et des projections de précipitation (runs couplés, forcés, aqua-planète)
- rôle des processus nuageux dans le climat présent : structure de l'ITCZ, MJO, ENSO, extrêmes de température sur l'Europe

2. Etudes de processus et évaluation des paramétrisations :

- études de cas de nuages de couche limite et transect GPCI
- évaluations des modèles sur sites instrumentés (SIRTA, ARM, AMMA..)
- évaluations des modèles climatiques en mode prévision

3. Etude de la crédibilité des rétroactions nuageuses

- robustesse des rétroactions nuageuses (physique, résolution)
- tests d'hypothèses sur le rôle de processus physiques
- tests de théories